

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **09074104 A**

(43) Date of publication of application: **18.03.97**

(51) Int. Cl.

H01L 21/331

H01L 29/73

H01L 29/205

(21) Application number: **07227679**

(71) Applicant: **FUJITSU LTD**

(22) Date of filing: **05.09.95**

(72) Inventor: **TAKAHASHI TAKESHI**

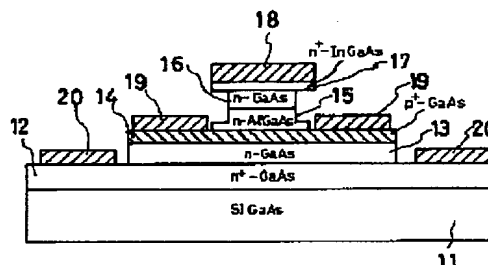
(54) **BIPOLAR SEMICONDUCTOR DEVICE**

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To generate a large number of carriers and at the same time to relax distortion by introducing the carbon of high concentration into a base layer comprising GaAs in a bipolar semiconductor device.

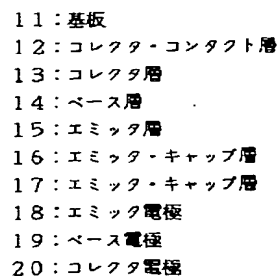
SOLUTION: This bipolar semiconductor device has a base layer 14 containing carbon as dopant and at the same time comprising GaAs to which aluminum is added and either one of indium or antimony or both of them is added.

COPYRIGHT: (C)1997,JPO



(11)特許出願公開番号

(43)公開日 平成9年(1997)3月18日



【特許請求の範囲】

【請求項1】ドーパントとしてカーボンを含むと共にアルミニウムが添加され且つインジウム或いはアンチモンの何れかが添加されたGaAsからなるベース層を備えてなることを特徴とするバイポーラ半導体装置。

【請求項2】インジウムとアンチモンの両方が添加されてなることを特徴とする請求項1記載のバイポーラ半導体装置。

【請求項3】アルミニウムのみが層の一部に添加され且つカーボンとインジウムの組み合わせ又はカーボンとアンチモンの組み合わせ又はカーボンとインジウムとアンチモンの組み合わせから選択された何れかの組み合わせの添加物質が均一に分散添加されてなることを特徴とする請求項1或いは2記載のバイポーラ半導体装置。

【請求項4】アルミニウムがワイド・エネルギー・バンド・ギャップ半導体層との界面に接した領域に添加されてなることを特徴とする請求項3記載のバイポーラ半導体装置。

【請求項5】カーボンが均一にドーピングされ且つアルミニウムとインジウムの組み合わせ又はアルミニウムとアンチモンの組み合わせ又はアルミニウムとインジウムとアンチモンの組み合わせから選択された何れかの組み合わせの添加物質が層の一部のみに添加されてなることを特徴とする請求項1或いは2記載のバイポーラ半導体装置。

【請求項6】選択された何れかの組み合わせの添加物質はワイド・エネルギー・バンド・ギャップ半導体層との界面に接した領域に添加されてなることを特徴とする請求項5記載のバイポーラ半導体装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えばヘテロ接合バイポーラ・トランジスタ(heterojunction bipolar transistor: HBT)などのバイポーラ半導体装置の改良に関する。

【0002】HBTは、高速動作性が良好で、且つ、電流駆動能力が高いことから、マイクロ波帯デバイス、或いは、光通信回路への応用などの面で期待されているが、高周波特性を向上させる為、更なる改良が必要である。

【0003】

【従来の技術】現在、HBTに於いては、AlGaAs/GaAs系の材料を用いることが多く、一般的には、エミッタにn-AlGaAsを、また、ベース及びコレクタにp-GaAs及びn-GaAsをそれぞれ用いている。

【0004】このようなHBTについて、その高周波特性を向上させる為、ベース抵抗を低下させる試みがなされている。

【0005】図6は従来の技術を説明する為のHBTを

表す要部切断側面図である。

【0006】図に於いて、1は半絶縁性GaAs基板、2は n^+ -GaAsコレクタ・コンタクト層、3はn-GaAsコレクタ層、4は p^+ -GaAsベース層、5はn-AlGaAs (又はInGaP) エミッタ層、6はn-GaAsエミッタ・キャップ層、7は n^+ -InGaAsエミッタ・キャップ層、8はエミッタ電極、9はベース電極、10はコレクタ電極をそれぞれ示している。

10 【0007】このHBTでは、ベース抵抗を低下させる為、ベース層4にカーボン(C)を高濃度にドーピングすることが行われている。

【0008】カーボンは、他のドーパント、例えばベリリウム(Be)、亜鉛(Zn)などのp型ドーパントに比較して結晶成長時の熱拡散が小さく、安定なドーパントとして知られている。

20 【0009】然しながら、カーボンは、原子半径がGaやAsに比較して小さい為、ベースに高濃度、例えば $1 \times 10^{19} [\text{cm}^{-3}]$ 以上でドーピングした場合、ベース領域がGaAs基板に対して小さく歪んでしまう。

30 【0010】例えば、GaAsに $4 \times 10^{19} [\text{cm}^{-3}]$ のカーボンをドーピングした場合、格子歪み $\Delta a/a$ は 5×10^{-4} となり、 $8 \times 10^{19} [\text{cm}^{-3}]$ のカーボンをドーピングした場合、 $\Delta a/a$ は 1×10^{-3} となる。

【0011】高周波特性を向上する為、ベースの不純物濃度を高め、ベース抵抗を低下させようとする、より顕著な歪みを発生する。

40 【0012】このような問題を回避する為、カーボンをドーピングした場合とは反対にGaAsの格子を広げる作用をすることができるInなどをドーピングする試みもなされている。

【0013】ところが、Inをドーピングすると、Inとカーボンとの結合エネルギーがGaやAsに対する結合エネルギーに比較して小さい為、GaAsがp型にならず、n型になってしまうことが多く、また、p型にコントロールすることができたとしても、 $2 \times 10^{19} [\text{cm}^{-3}]$ 以上のキャリアを発生させるのは困難である。

【0014】

50 【発明が解決しようとする課題】前記したように、従来のHBTに於いては、カーボン・ドーピングのp型GaAsベース層に於ける歪みの緩和と、キャリアの高濃度化とは二律背反の関係にある。

【0015】本発明では、GaAsからなるベース層に高濃度にカーボンを取り込んで多くのキャリアを発生させ、しかも、歪みも緩和可能にしようとする。

【0016】

【課題を解決するための手段】図1は本発明の原理を解説する為の半導体結晶に於ける原子排列を表す説明図である。

50 【0017】一般に、GaAsに対するカーボンのドー

ピングは、例えば有機金属化学気相堆積 (metalorganic chemical vapour deposition: MOCVD) 法や有機金属分子線エピタキシ (metalorganic molecular beam epitaxy: MOMBE) 法などの有機金属ガスを原料とする結晶成長法を適用して結晶を成長させる際に実施される。

【0018】例えば、MOCVD法に於いては、トリメチルガリウム ($\text{TMGa: Ga(CH}_3\text{)}_3$) とアルシン (AsH_3) のガスを供給し、その分解反応で GaAs が形成される。

【0019】この場合、未分解の TMGa が発生すると、そのメチル基のカーボンが結晶中に取り込まれるものであり、その様子が図1 (A) に表されていて、五族のサイトに取り込まれたカーボンは三族の Ga と結合している。

【0020】ここで、代表的な三族-五族元素とメチル基との結合強度を比較すると、 In-CH_3 (47 [kcal/mol]) < As-CH_3 (55 [kcal/mol]) < Ga-CH_3 (59 [kcal/mol]) < Al-CH_3 (66 [kcal/mol])、となり、 Ga-C 結合よりも Al-C 結合の方が結合強度は強いことが判る。

【0021】このことから、カーボンを安定にドーピングするには、カーボンと同時に Al をドーピングすれば良いことが認識されよう。

【0022】この場合、ドーピングした Al とカーボンとが結合し易いように、原料ガスの状態に於いて、既に Al とカーボンとが結合しているもの、例えばトリメチルアルミニウム ($\text{TMAI: Al(CH}_3\text{)}_3$) などを用いると良い。

【0023】そのようにすると、図1 (B) に見られるように、 Al とカーボンとが結合したドーバント・ペアが生成される確率が高くなる。実際、 AlGaAs にカーボンをドーピングするとカーボンの濃度は Al 組成に依存して増減する。

【0024】また、ドーピングされるカーボン量は高くなり過ぎて、むしろ、低濃度に抑えることが難しい傾向となるので、カーボンが入り易い Al と、カーボンが入り難い In とを同時にドーピングすることで、 In に依って GaAs の歪みを抑えながら Al に依ってカーボン濃度を高めることが可能である。このような In の作用は、 Sb にも同様に期待することができる。

【0025】尚、 AlAs と GaAs とは格子定数が略同じである為、 Al をドーピングしたことに依る格子歪みは殆ど無いに等しい。

【0026】前記したようなところから、本発明に依るバイポーラ半導体装置に於いては、(1) ドーバントとしてカーボンを含むと共にアルミニウムが添加され且つインジウム或いはアンチモンの何れかが添加された Ga

As からなるベース層 (例えばベース層14) を備えてなるか、或いは、

【0027】(2) 前記(1)に於いて、インジウムとアンチモンの両方が添加されてなることを特徴とするか、或いは、

【0028】(3) 前記(1)或いは(2)に於いて、アルミニウムのみが層の一部に添加され且つカーボンとインジウムの組み合わせ又はカーボンとアンチモンの組み合わせ又はカーボンとインジウムとアンチモンの組み合わせから選択された何れかの組み合わせの添加物質が均一に分散添加されてなることを特徴とするか、或いは、

【0029】(4) 前記(3)に於いて、アルミニウムがワイド・エネルギー・バンド・ギャップ半導体層との界面に接した領域に添加されてなること (図2 (B) について説明したタイプ) を特徴とするか、或いは、

【0030】(5) 前記(1)或いは(2)に於いて、カーボンが均一にドーピングされ且つアルミニウムとインジウムの組み合わせ又はアルミニウムとアンチモンの組み合わせ又はアルミニウムとインジウムとアンチモンの組み合わせから選択された何れかの組み合わせの添加物質が層の一部のみに添加されてなることを特徴とするか、或いは、

【0031】(6) 前記(5)に於いて、選択された何れかの組み合わせの添加物質はワイド・エネルギー・バンド・ギャップ半導体層との界面に接した領域に添加されてなること (図2 (C) について説明したタイプ) を特徴とする。

【0032】前記手段を採ることに依り、安定な Al-C 結合が生成され、熱処理や電流ストレスに安定な高不純物濃度 p 型 GaAs ベース層を実現でき、そして、 In や Sb など、結晶格子を大きくするような半導体材料を Al やカーボンと同時にドーピングすることで、高濃度のカーボンに依る結晶の歪みを緩和できるから、カーボン・ドーピング層を含む多層構造は極めて安定なものとなり、バイポーラ半導体装置の性能は大きく向上する。

【0033】

【発明の実施の形態】図2は本発明の HBT に用いられる p 型 GaAs を用いたヘテロ接合を例示する要部切断側面図である。

【0034】各図に於いて、 AlGaAs 或いは InGaP など、 GaAs よりもエネルギー・バンド・ギャップの大きい材料と GaAs とでヘテロ接合を生成しているものを表している。

【0035】図に於いて、(A) は、エミッタとなる AlGaAs 部分に濃度が $3 \times 10^{17} [\text{cm}^{-3}]$ である Si 、 Se 、 Sn などの n 型ドーバントをドーピングし、また、ベースとなる GaAs 部分に様にカーボンを $4 \times 10^{19} [\text{cm}^{-3}]$ の濃度で、そして、 Al を約 1×10

$10^{19} [\text{cm}^{-3}] \sim 5 \times 10^{20} [\text{cm}^{-3}]$ の濃度でそれぞれドーピングし、それと同時に、In 或いは Sb などの格子を大きくするドーパントを $1 \times 10^{19} \sim 5 \times 10^{20} [\text{cm}^{-3}]$ の濃度でドーピングしたものを表している。これに依り、格子歪みがない高濃度のカーボン・ドーピングが可能になっている。

【0036】図に於いて、(B)は、(A)に於いて説明したベースとなるGaAs部分のようにAlを一様にドーピングするのではなく、ベースとなるGaAs部分のヘテロ接合面側に於ける例えば厚さ300 [Å] の領域にAlを選択的にドーピングしたものであり、従って、その領域には、C+In (或いはSb)+Alが導入されている。

【0037】図に於いて、(C)は、(B)に於いて説明したベースとなるGaAs部分のようにヘテロ接合面側の厚さ300 [Å] の領域にAlのみを選択的にドーピングするのではなく、Alに加えてIn (或いはSb) も選択的にドーピングしたものであり、従って、その領域には、C+Al+In (或いはSb) が導入されている。その結果、ベースとなるGaAs部分の残りの部分にはCのみが導入されている。

【0038】図3は図2について説明したヘテロ接合を用いた本発明の一実施の形態であるHBTを表す要部切断側面図である。

【0039】図に於いて、11は半絶縁性基板、12はコレクタ・コンタクト層、13はコレクタ層、14はベース層、15はエミッタ層、16はエミッタ・キャップ層、17はエミッタ・キャップ層、18はエミッタ電極、19はベース電極、20はコレクタ電極をそれぞれ示している。

【0040】前記各部分について、主要なデータを例示すると、次の通りである。

(1) 半絶縁性基板11について

材料：半絶縁性GaAs

【0041】(2) コレクタ・コンタクト層12について

材料： n^+ -GaAs

不純物濃度： $3 \times 10^{18} [\text{cm}^{-3}]$

厚さ：5000 [Å]

【0042】(3) コレクタ層13について

材料： n -GaAs

不純物濃度： $3 \times 10^{16} [\text{cm}^{-3}]$

厚さ：4000 [Å]

【0043】(4) ベース層14について

材料： p^+ -GaAs

不純物濃度： $4 \times 10^{19} [\text{cm}^{-3}]$

厚さ：700 [Å]

【0044】(5) エミッタ層15について

材料： n -AlGaAs

不純物濃度： $3 \times 10^{17} [\text{cm}^{-3}]$

厚さ：2000 [Å]

【0045】(6) エミッタ・キャップ層16について

材料： n^+ -GaAs

不純物濃度： $3 \times 10^{18} [\text{cm}^{-3}]$

厚さ：2000 [Å]

【0046】(7) エミッタ・キャップ層17について

材料： n^+ -InGaAs

10 不純物濃度： $3 \times 10^{19} [\text{cm}^{-3}]$

厚さ：1000 [Å]

【0047】(8) エミッタ電極18について

材料：WSi

厚さ：4000 [Å]

【0048】(9) ベース電極19について

材料：Ti/Pt/Au

厚さ：100 [Å] / 400 [Å] / 1000 [Å]

【0049】(10) コレクタ電極20について

材料：AuGe/Au

20 厚さ：200 [Å] / 3000 [Å]

【0050】図4及び図5は図3に見られるHBTを製造する工程について解説する為の工程要所に於けるHBTを表す要部切断側面図であり、以下、これ等の図を参照しつつ説明する。

【0051】図4 (A) 参照

4- (1)

MOCVD法を適用することに依り、基板11上にコレクタ・コンタクト層12、コレクタ層13、ベース層14、エミッタ層15、エミッタ・キャップ層16、エミッタ・キャップ層17を成長させる。

30

【0052】尚、ベース層14を形成する際には、勿論、図2の (A)、(B)、(C) について説明した何れかの手段を採用。

4- (2)

スパッタリング法を適用することに依り、全面にWSi膜を形成する。

【0053】4- (3)

リソグラフィ技術に於けるレジスト・プロセスを適用することに依り、エミッタ・メサ形成予定部分を覆うレジスト膜を形成する。

40

【0054】4- (4)

CF₄ + O₂ からなる混合ガスをエッチング・ガスとするドライ・エッチング法を適用することに依り、前記工程4- (2) で形成したWSi膜のエッチングを行ってエミッタ電極18を形成する。

【0055】尚、エミッタ電極18は、合金化の熱処理を行わなくても、オーミック・コンタクトになっている。

【0056】図4 (B) 参照

50 4- (5)

$H_2 PO_4 + H_2 O_2 + H_2 O$ の混合液(InGaAs用)及び $NH_4 OH + H_2 O_2 + H_2 O$ の混合液(GaAs及びAlGaAs用)をエッチャントとするウェット・エッチング法を適用することに依り、エミッタ電極18をマスクとして、エミッタ・キャップ層17、エミッタ・キャップ層16、エミッタ層15のエッチングを行ってエミッタ・メサを形成する。

【0057】前記メサ・エッチング工程に於いて、InGaAsからなるエミッタ・キャップ層17は、GaAsやAlGaAsの為のエッチング液である $NH_4 OH + H_2 O_2 + H_2 O$ 混合液に依ってエッチングされることはなく、従って、エミッタ・キャップ層16及びエミッタ層15は、そのエッチング時にサイド・エッチングされる。尚、エミッタ層15をエッチングする際、ベース層14上に厚さ200 [Å] ~ 500 [Å] 程度が残るように制御する。

【0058】残った薄いエミッタ層15、即ち、薄いAlGaAs層は、空乏化して電氣的に不導体化された状態に在り、後に説明するが、その残った薄いエミッタ層15の一部はガード・リングとして用いられる。

【0059】4-(6) 化学気相堆積(chemical vapor deposition: CVD)法を適用することに依り、全面に厚さ約1000 [Å] 程度の SiO_2 膜を形成する。

【0060】4-(7) $CF_4 + CHF_3$ の混合ガスをエッチング・ガスとする反応性イオン・エッチング(reactive ion etching: RIE)法を適用することに依り、前記工程4-(6)で形成した SiO_2 膜の異方性エッチングを行ってサイド・ウォール21を形成する。

【0061】このサイド・ウォール21は、前記したようにベース層14上に残っている厚さ200 [Å] ~ 500 [Å] のエミッタ層15の上では、エミッタ・メサに比較して側方に張り出しているエミッタ電極18の影響を受けて、同様にエミッタ・メサよりも側方に張り出した形状になっている。

【0062】4-(8) $H_2 PO_4 + H_2 O_2 + H_2 O$ の混合液をエッチャントとするウェット・エッチング法を適用することに依り、サイド・ウォール21をマスクとして、ベース層14上に薄く残っているエミッタ層15のエッチングを行って、ベース層14を表出させる。

【0063】サイド・ウォール12と同パターンにエッチングされて、エミッタ・メサの側方に張り出した薄いエミッタ層15は、前記したように空乏化されているので、ベース表面でのキャリアの再結合を抑止する為のガード・リングとして作用する。

【0064】図5(A)参照
5-(1)

真空蒸着法を適用し、全面に厚さが100 [Å] / 400 [Å] / 1000 [Å] であるTi膜/Pt膜/Au膜からなる電極材料膜を形成する。尚、この場合、ベース電極となるべき部分のエミッタ・メサ側は、エミッタ電極18の存在に依ってセルフ・アライメントで画成される。

【0065】5-(2)

リソグラフィ技術に於けるレジスト・プロセスを適用することに依り、ベース電極領域を規定するレジスト膜を形成する。

【0066】5-(3)

Arイオンを用いるイオン・ミリング法を適用することにより、前記工程5-(2)で形成したレジスト膜をマスクとして前記工程5-(1)で形成した電極材料膜の除去を行って、ベース電極19を形成する。

【0067】5-(4)

引き続き、 $H_2 PO_4 + H_2 O_2 + H_2 O$ からなる混合液をエッチャントとするウェット・エッチング法を適用することに依り、ベース層14及びコレクタ層13のエッチングを行ってベース・メサを形成し、その後、前記工程5-(2)で形成したレジスト膜を除去し、コレクタ・コンタクト層12の一部を表出させる。

【0068】このようにして形成したベース電極19は、下地であるベース層14に於けるキャリア濃度が高い為、熱処理することなく、オーミック・コンタクトが得られる。

【0069】図5(B)参照

5-(5)

リソグラフィ技術に於けるレジスト・プロセスを適用することに依り、コレクタ電極形成予定部分に開口をもつレジスト膜を形成する。尚、前記開口内には、コレクタ・コンタクト層12の一部が表出されている。

【0070】5-(6)

真空蒸着法を適用することに依って、全面に厚さが200 [Å] / 3000 [Å] であるAuGe膜/Au膜からなる電極材料膜を形成する。

【0071】5-(7)

前記工程5-(5)で形成したレジスト膜を溶解し、その上の電極材料膜と共に除去するリフト・オフ法を適用することに依り、AuGe/Auからなるコレクタ電極20を形成する。

【0072】5-(8)

図示していないが、この後、

① CVD法を適用することに依り、厚さが例えば5000 [Å] の SiO_2 などからなる保護膜を形成する。

【0073】② 保護膜が SiO_2 である場合、リソグラフィ技術に於けるレジスト・プロセス及び $CF_4 + CHF_3$ の混合ガスをエッチング・ガスとするRIE法を適用し、エミッタ電極コンタクト窓、ベース電極コンタクト窓、コレクタ電極コンタクト窓を形成する。

【0074】③ 真空蒸着法並びにリソグラフィ技術を適用することに依って、厚さ100〔Å〕／10000〔Å〕のTi／Auからなる配線を形成する。

などの工程を経てHBTを完成する。

【0075】前記HBTが集積回路の場合、素子間分離の必要があり、工程の適当な段階で、プロトン（H⁺）注入法などを適用して抵抗性領域を形成すれば良い。

【0076】本発明は、前記実施の形態に限定されることがなく、他に多くの改変を実現することができる。

【0077】例えば、エミッタ電極及びベース電極間はセルフ・アライメント方式で形成する場合について説明してあるが、これは非セルフ・アライメント方式、即ち、通常のリソグラフィ技術に依って形成しても良い。

【0078】また、前記HBTは、エミッタ・アップ構造のものについて説明したが、コレクタ・アップであっても同様な工程を採って製造することが可能である。

【0079】また、前記HBTはAlGaAs／GaAs系材料を用いたが、InGaP／GaAs系などの材料を用いたHBTも得ることができる。

【0080】

【発明の効果】本発明に依るバイポーラ半導体装置に於いては、ドーパントとしてカーボンを含むと共にアルミニウムが添加され且つインジウム又はアンチモンの何れか、或いはインジウムとアンチモンの両方が添加されたGaAsからなるベース層を備える。

【0081】前記構成を採ることに依って、安定なAl-C結合が得られ、熱処理や電流ストレスに安定な高不純物濃度p型GaAsベース層が実現され、そして、InやSbなど、結晶格子を大きくするような半導体材料をAlやカーボンと同時にドーピングすることで、高濃

度のカーボンに依る結晶の歪みを緩和でき、従って、カーボン・ドーピング層を含む多層構造は極めて安定なものとなり、バイポーラ半導体装置の性能は大きく向上する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の原理を解説する為の半導体結晶に於ける原子排列を表す説明図である。

【図2】本発明のHBTに用いられるp型GaAsを用いたヘテロ接合を例示する要部切断側面図である。

10 【図3】図2について説明したヘテロ接合を用いた本発明の一実施の形態であるHBTを表す要部切断側面図である。

【図4】図3に見られるHBTを製造する工程について解説する為の工程要所に於けるHBTを表す要部切断側面図である。

【図5】図3に見られるHBTを製造する工程について解説する為の工程要所に於けるHBTを表す要部切断側面図である。

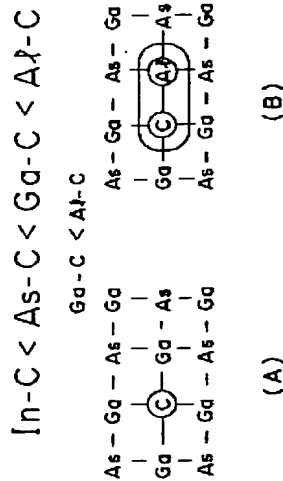
20 【図6】従来の技術を説明する為のHBTを表す要部切断側面図である。

【符号の説明】

- 11 半絶縁性基板
- 12 コレクタ・コンタクト層
- 13 コレクタ層
- 14 ベース層
- 15 エミッタ層
- 16 エミッタ・キャップ層
- 17 エミッタ・キャップ層
- 18 エミッタ電極
- 30 19 ベース電極
- 20 コレクタ電極

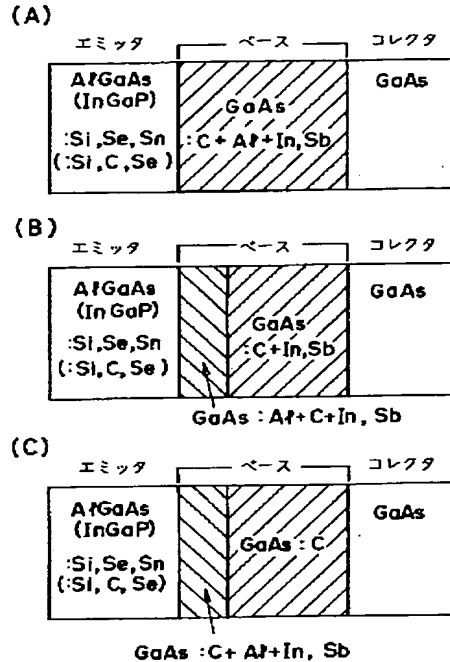
【図1】

半導体結晶に於ける原子排列を表す説明図



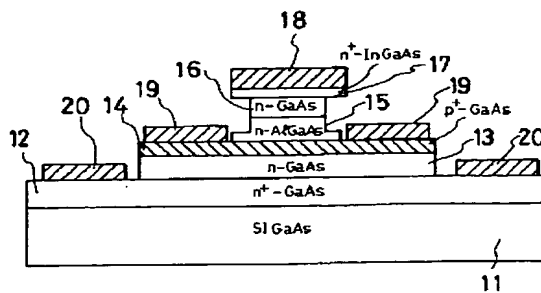
【図2】

ヘテロ接合を例示する要部切断側面図



【図3】

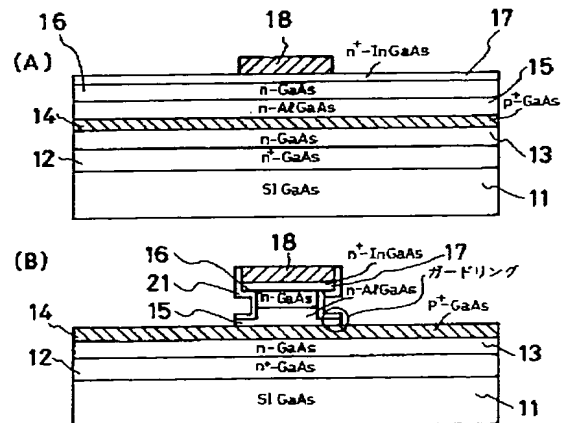
HBTを表す要部切断側面図



- 11: 基板
- 12: コレクタ・コンタクト層
- 13: コレクタ層
- 14: ベース層
- 15: エミッタ層
- 16: エミッタ・キャップ層
- 17: エミッタ・キャップ層
- 18: エミッタ電極
- 19: ベース電極
- 20: コレクタ電極

【図4】

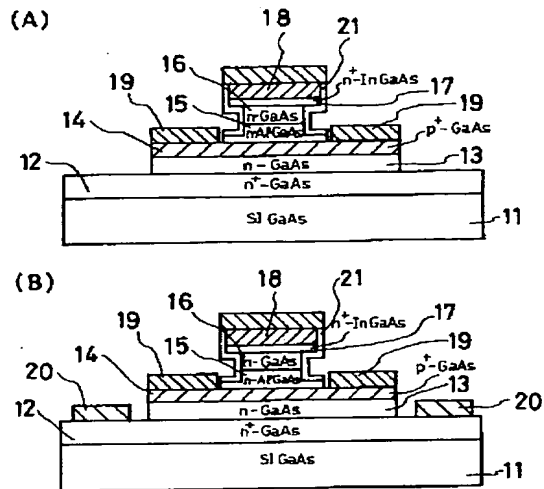
工程要所に於けるHBTを表す要部切断側面図



- 11: 基板
- 12: コレクタ・コンタクト層
- 13: コレクタ層
- 14: ベース層
- 15: エミッタ層
- 16: エミッタ・キャップ層
- 17: エミッタ・キャップ層
- 18: エミッタ電極
- 21: サイド・ウォール

【図5】

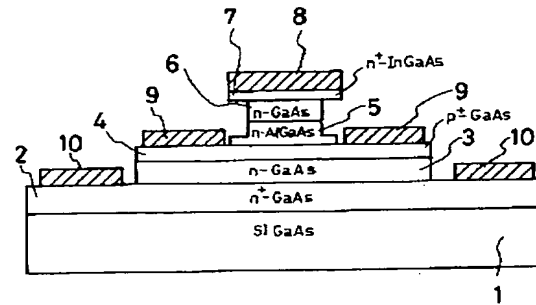
工程要所に於けるHBTを表す要部切断側面図



19 : ベース電極
20 : コレクタ電極

【図6】

従来のHBTを表す要部切断側面図



1 : 基板
2 : コレクタ・コンタクト層
3 : コレクタ層
4 : ベース層
5 : エミッタ層
6 : エミッタ・キャップ層
7 : エミッタ・キャップ層
8 : エミッタ電極
9 : ベース電極
10 : コレクタ電極